

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平8-8846

(43) 公開日 平成8年(1996)1月12日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

H 0 4 B 17/00

C

7/26

// G 0 6 F 17/00

9069-5L

H 0 4 B 7/ 26

K

G 0 6 F 15/ 20

D

審査請求 未請求 請求項の数6 O L (全 13 頁)

(21) 出願番号

特願平6-138522

(22) 出願日

平成6年(1994)6月21日

(71) 出願人 000005108

株式会社日立製作所

東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(72) 発明者 高橋 賢

東京都国分寺市東恋ヶ窪1丁目280番地

株式会社日立製作所中央研究所内

(74) 代理人 弁理士 小川 勝男

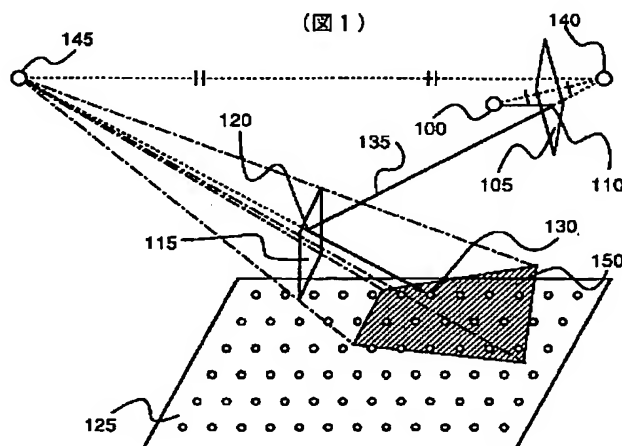
(54) 【発明の名称】 電波受信強度シミュレーション方法

(57) 【要約】

【目的】 移動通信システムにおける電波受信強度を短時間で計算できるシミュレーション方法の提供を目的とする。

【構成】 基地局からの送信電波のうち、電波が最後に反射した反射物体に関して求まる仮想的な送信点145とその反射物体115とに基づいて、反射波の到達可能領域150を特定しておき、この特定領域内に位置する各評価点について反射波の受信強度を計算する。

【効果】 計算対象となる領域が特定されているため、全領域において計算する場合に比較して、計算精度を落とすことなく、計算時間を大幅に削減できる。



## 1

## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】電波反射物体を含む三次元空間の一点に配置した電波送信点からの電波受信強度を上記空間内の一平面上に位置する複数の評価点において求めるためのシミュレーション方法において、

上記送信点から直接あるいは反射物体を透過して到達する電波について、上記各評価点における電波強度を求める第 1 ステップと、

各反射物体対応に反射波の到達する領域を特定し、該特定領域に含まれる各評価点毎に反射波あるいは反射物体を透過して到達する反射波の電波強度を求め、第 1 ステップで求めた電波強度に加算する第 2 ステップとからなることを特徴とする電波受信強度シミュレーション方法。

【請求項 2】前記第 1 ステップが、送信点から直接到達する電波強度を各評価点について求めるステップと、

各反射物体を透過した透過電波の到達領域を特定し、各特定領域内に位置する評価点について電波の透過損を計算し、各評価点について既に求められている直接波の電波強度を補正するステップとからなることを特徴とする請求項 1 に記載の電波受信強度シミュレーション方法。

【請求項 3】前記透過電波の到達領域を前記電波の送信点と各反射物体との位置関係から求めることを特徴とする請求項 2 に記載の電波受信強度シミュレーション方法。

【請求項 4】前記第 2 ステップが、1 次反射波について、各反射物体対応に反射波の到達領域を特定し、該特定領域内に含まれる評価点毎に 1 次反射波のパスを求め、各パス毎に反射損失、またはパス上の反射物体による透過損失を求めることによって、前記反射波の電波強度を求めることを特徴とする請求項 1 に記載の電波受信強度シミュレーション方法。

【請求項 5】前記第 2 ステップが、2 次以上の反射波について、各反射物体毎の反射波の到達領域を特定し、該特定領域に含まれる評価点毎に反射波のパスの有無を判定し、パスが存在する場合は、各パス毎に反射損失またはパス上の反射物体による透過損失を求めることによって、前記反射波の電波強度を求めることを特徴とする請求項 1 または請求項 4 に記載の電波受信強度シミュレーション方法。

【請求項 6】前記各反射物体毎の反射波の到達領域を、電波が最後に反射した反射物体の位置と、該反射物体について求めた仮想的な送信点との位置関係から計算することを特徴とする請求項 5 に記載の電波受信強度シミュレーション方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】本発明は電波受信強度シミュレーション方法に関し、更に詳しくは、移動通信システムに

## 2

における親機（基地局）のレイアウトおよびゾーン設計を行うための電波強度の予測方法に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】複数の親機（基地局）と複数の子機からなる移動通信システムにおいては、電波強度の予測が重要である。例えば、想定される子機の使用範囲では、親機からの電波が十分に届くようにシステム設計しておく必要があるが、レイアウト設計が不適切で親機の配置台数が増加すると、単にシステムの全体コストが増大するのみならず、子機に対する他の親機からの干渉が大きくなるため、限られた周波数を有効利用できなくなるとい

う問題がある。逆に、親機の台数が少な過ぎると、親機からの電波が十分な強度で到達しない場所が生じるため、場所によっては子機を使用できなくなるとい問題がある。

【0003】電波強度を正確に予測できれば、子機の使用が予定される領域全体を少数の親機でカバーできる適切なレイアウト設計が可能になり、例えば、多数の利用者が通る主要な領域に対しては、安定した電波強度が得られるように余裕を持って親機を配置し、利用者が稀な非重要領域に対しては親機の設置台数を少なくしてコスト低減を図るなど、状況に応じた最適なシステム配置が可能になる。

【0004】移動通信システムにおける電波強度の予測方法については、例えば、アイトリプルイー・ネットワーク・マガジン、1991 年 11 月号、27 ページから 30 ページ (IEEE Network Magazine, November 1991, pp. 27-30) において論じられている。

【0005】上記従来方法では、例えば、図 2 に示すように、パラメータの設定と全評価点に対応する記憶領域の初期化（ステップ 155）を行った後、評価平面上の一つの評価点を選び（160）、送信点と評価点との間に取り得るパスの一つを抽出し（165）、送信点から評価点に至るパスが存在するかどうか判定する（170）。もし、そのパスが存在すれば、そのパスにおける反射や透過を考慮して振幅を求め（175）、該評価点に対応する記憶領域に求めた振幅値を加算する（180）。パスの抽出（165）、パスの存在判定（170）、そのパスの振幅計算（175）、振幅の加算（180）の各ステップを、取り得る全てのパスについて実行する（185）。これらを全ての評価点についてくり返し（190）、全ての評価点についての計算が終了したら強度分布を出力する（195）。

【0006】送信点と評価点の周辺に反射物体が存在した場合、各評価点の電波強度には、送信点から直接届く電波以外に、これらの反射物体で反射して評価点に到達する電波も考慮する必要がある。例えば、周辺の反射物体の数が「2」で、これらの反射物体により反射される電波のうち、2 回反射までの反射電波を考慮に入れるものとすると、上記送信点と評価点との間のパスの抽出

## 3

(165)において、取り得るパスの数は、「送信点—評価点」、「送信点—反射物体1—評価点」、「送信点—反射物体2—評価点」、「送信点—反射物体1—反射物体2—評価点」、「送信点—反射物体2—反射物体1—評価点」の5本となる。

$$p = 1 + w + w(w-1) + w(w-1)^2 + \dots + w(w-1)^{n-1}$$

$$= 1 + w \sum_{i=1}^n (w-1)^{i-1} \dots\dots\dots (数1)$$

【0009】送信点から評価点までのパスの判定(170)について、図3を用いて具体的に説明する。図3は、送信点100から放射された電波のうち、第1の反射物体105の反射点110で反射した後、第2の反射物体115の反射点120で反射して評価点130に到達する電波のパス135を抽出する方法を示している。

【0010】まず、第1の反射物体105に対して、送信点と点対称となる位置に仮想的な送信点140を求める。さらに、第2の反射物体115に対して、上記仮想的な送信点140と点対称となる位置に仮想的な送信点145を求める。ここで、評価点130と仮想的な送信点145との距離は、送信点100と評価点130との間の電波の伝搬距離に等しいため、評価点130と仮想的な送信点145の距離から伝搬による損失(伝搬損)を求め、その値を保持しておく。

【0011】次に、評価点130と仮想的な送信点145を結ぶ直線上で第2の反射物体115と交差する点を求める、これを第2の反射物体上の反射点120とする。もし、第2の反射物体上に上記反射点がない場合は、上述した反射電波のパスが存在しないものと判断し、次のパスの計算を行う。第2の反射物体115上に反射点120があった場合は、該反射物体115の電気的パラメータに基づいて反射損を計算し、これを既に計算されている伝搬損に加えた後、評価点130と第2の反射物体115上の反射点120との間に他の反射物体があるかどうかを判定する。

【0012】もし、他の反射物体があれば、その反射物体の電気的パラメータから透過損を計算し、これを既に計算されている伝搬損に加え、第2の反射物体115上の反射点120と仮想的な送信点140とを結ぶ直線上で、第1の反射物体105との交差点を求めることにより、第1の反射物体105上の反射点110を得る。もし、第1の反射物体1上に反射点がない場合には、このような反射電波のパスは存在しないものと判断し、次のパスの計算を行う。第1の反射物体上の反射点110がある場合は、第1の反射物体の電気的パラメータに基づいて反射損を計算し、これを既に計算されている伝搬損に加え、第2の反射物体上の反射点120と第1の反射物体上の反射点110との間に他の反射物体があるかどうかを判定する。

【0013】もし、他の反射物体があれば、その反射物

## 4

【0007】反射物体の数をw、最大反射回数をnのとき、パスの数pは(数1)で表される。

【0008】

【数1】

体の電気的パラメータから透過損を計算し、これを既に計算されている伝搬損に加え、第1の反射物体上の反射点110と送信点100との間に他の反射物体があるかどうかを判定する。もし、他の反射物体があるときには、その反射物体の電気的パラメータから透過損を計算し、これを既に計算されている伝搬損に加える。このようにして、各パスの反射波の強度を計算し、同様に求めた他のパスの反射波の強度と加えることにより、評価点での受信電波の強度(振幅)を求める。

【0014】上述した計算を各評価点で繰り返すことにより、ゾーン内の電波強度を求めることができる。

【0015】

【発明が解決しようとする課題】然るに、実際に移动通信システムを設置しようとする屋内レイアウトには多くの反射物体を含み、反射の組合せが多数存在するため、判定対象となる反射波のパスの数が膨大となる。例えば、反射物体の数を「60」とし、各評価点の到達電波として2次反射までの反射波を考慮すると仮定した場合、一評価点あたり判定すべきパス数は、(数1)により3,601本となる。従って、評価点の数を10,000点とすると、全部で36,010,000本のパスについて判定を行う必要があり、パス判定と各反射物体との交点判定に多大な時間を費やし、ゾーン内の電波強度のシミュレーションに多くの時間がかかる。

【0016】一方、現実的な室内レイアウトにおいてパスの存在確率を調査したところ、2次反射以内の反射で評価点に到達する反射波はわずか1%に過ぎないことが判明した。或る反射物体により反射した反射波で照射される評価点群が、或る程度、直感的にわかるにも関わらず、従来の方法では、反射波が評価点に到達しない残り99%のパスについて、パスの存在の有無を判定するために無駄な計算時間を費していた。

【0017】以上、反射波について述べてきたが、これは直接波の計算にもあてはまる。すなわち、従来は、明らかに送信点を遮らない評価点についても、それらを結ぶ直線と全ての反射物体との交点判定のための無駄な計算時間を費やしていた。

【0018】本発明の目的は、計算所要時間を短縮した電波受信強度シミュレーション方法を提供することにある。

【0019】

## 5

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために、本発明では、送信点あるいは最後に反射した反射物体による仮想的な送信点と反射物体との位置関係により、反射波の存在する可能性のある特定領域を予め求めておき、上記特定領域内の評価点について反射波パスの有無の判定を行うことを特徴とする。

【0020】また、本発明は、送信点と反射物体の位置関係により透過波の存在する特定領域を予め求め、上記特定領域内の評価点のみについて透過波パスの有無の判定を行うことを特徴とする。

## 【0021】

【作用】本発明によれば、反射波あるいは透過波の存在する領域を予め特定しておき、この特定領域内の評価点についてのみ、反射波パスあるいは透過波パスの判定を行い、評価点に到達する反射波強度あるいは透過波強度の計算を行うようにしているため、全ての評価点に対してパス判定を行う方式に比較して、計算処理時間を大幅に短縮することができる。

## 【0022】

【実施例】図4は、本発明による受信電波強度測定の実シミュレーション方法の1実施例を示すフローチャートである。

【0023】まず、計算パラメータの設定と、全評価点の振幅値を保持する記憶領域の初期化（ステップ155）を行った後、全評価点について、基地局からの直接波（直接波による透過波を含む）の振幅計算を行い、それぞれの評価点に対応する記憶領域に振幅値を保持する（200）。次に、1次反射波（1次反射波による透過波を含む）の到達する領域を特定し、この領域内に位置する各評価点について1次反射波の振幅（強度）計算を行い、該評価点毎に、既に計算されている直接波の振幅（強度）に加算する（205）。更に、2次以上の反射波（2次以上の反射波による透過波を含む）の到達する領域を特定し、この領域内に位置する各評価点について反射波の振幅（強度）計算を行い（210）、該評価点

$$\mathbf{n} = (\mathbf{A} - \mathbf{B}) \times (\mathbf{C} - \mathbf{B})$$

$$= \begin{vmatrix} \mathbf{i} & \mathbf{j} & \mathbf{k} \\ x_a - x_b & y_a - y_b & z_a - z_b \\ x_c - x_b & y_c - y_b & z_c - z_b \end{vmatrix}$$

$$= \mathbf{i} \{ (y_a - y_b)(z_c - z_b) - (y_c - y_b)(z_a - z_b) \} \\ + \mathbf{j} \{ (z_a - z_b)(x_c - x_b) - (z_c - z_b)(x_a - x_b) \} \\ + \mathbf{k} \{ (x_a - x_b)(y_c - y_b) - (x_c - x_b)(y_a - y_b) \}$$

$$a x_a + b y_a + c z_a + d = 0$$

$$\begin{cases} a = (y_a - y_b)(z_c - z_b) - (y_c - y_b)(z_a - z_b) \\ b = (z_a - z_b)(x_c - x_b) - (z_c - z_b)(x_a - x_b) \\ c = (x_a - x_b)(y_c - y_b) - (x_c - x_b)(y_a - y_b) \\ d = -a x_a - b y_a - c z_a \end{cases} \dots\dots\dots (数2)$$

【0028】図7は、直接波の振幅計算のブロック図、また、図8と図9は、本発明による直接波計算を行う際

## 6

毎に、既に計算されている振幅（強度）に加算する。最後に、上記各評価点毎の受信電波強度の計算結果に基づいて、電波強度の分布を示す図面を出力する（195）。

【0024】以下、上記各ステップの詳細について説明する。

【0025】図5は、パラメータの設定と初期化（ステップ155）において設定するパラメータの1例を示す。また、図6は、振幅値を保持する記憶領域235の構成を示す。パラメータとしては、送信点の位置である送信点の座標（x, y, z）215、伝搬損・反射損・透過損の計算で用いる周波数（f）220、それぞれの反射物体のデータ225、評価平面のパラメータ230がある。評価平面のパラメータ230は、評価平面の大きさ（X, Y）2300と、評価平面の高さ（h）2302と、評価点間隔（s）2304とからなる。反射物体のデータ225は、反射物体毎に保持され、それぞれ、反射物体を構成する四角形の4点の座標2250と、交点の計算を容易にするために予め保持する平面の構成パラメータ（a, b, c, d）2252と、反射損・透過損の計算に用いる電気的パラメータ（比誘電率 $\epsilon_r$ 、導電率 $\sigma$ ）2254とからなっている。

【0026】平面の構成パラメータ2252は、4点の座標2250を与えたとき、この4点の全てにおいて、 $a x + b y + c z + d = 0$ を満たすようなa, b, c, dを代入しておく。具体的には、4点の座標2250のうち、3点であるA（ $x_a, y_a, z_a$ ）、B（ $x_b, y_b, z_b$ ）、C（ $x_c, y_c, z_c$ ）を与えたとき、この反射物体の法線ベクトル $\mathbf{n}$ （a, b, c）は、ベクトル（A-B）とベクトル（C-B）の外積を取ったものであり、（数2）で表される。なお、これらの変数は仮想的な送信点を求めるときに用いる。

## 【0027】

## 【数2】

の斜投図と上面図をそれぞれに示す。直接波の振幅計算は、まず、一つの反射物体を抽出し（ステップ200

7

0)、送信点と反射物体との位置関係から透過波存在領域を求める(2002)。この操作を全ての反射物体について繰り返す(2004)。その後、計算を行う高さが一定の平面(以下、評価平面と略す)上の一評価点を抽出し(2006)、送信点とその評価点の座標から距

$$A = \frac{\lambda}{4\pi r} A_0 \dots\dots\dots (数3)$$

【0030】ただし、rは送信点からその評価点までの距離、 $A_0$ は送信点に加える振幅の大きさであり、また、 $\lambda$ は波長であり周波数がf(220)のとき $\lambda = c/f$ (cは光速;c=3×10<sup>8</sup>m/s)で表される。

【0031】次に、先に求めた透過波存在領域のうち、現在着目している評価点が位置する透過波存在領域を抽出する(2010)。その評価点が位置する透過波存在領域の数をnとすると、その評価点がいずれかの透過波の存在領域(D<sub>i</sub>, i=1, 2, ..., n)に入っていれば、すなわち、n≠0の場合は(2012)、その透過波の存在領域に対応する反射物体の透過率T<sub>i</sub>を求め、先に求めた求めた振幅Aにそれぞれ掛け(2014)、求めた振幅Aを評価点に対応する記憶領域の値に加える(2016)。この操作を全ての評価点について行う(2018)。

【0032】具体的には、図8および図9において、反射物体105を抽出し、送信点100と反射物体105との位置関係から透過波存在領域240を抽出する、このステップを全ての反射物体についてくり返す。

【0033】次に、評価点130を順番に選び、送信点と評価点の距離から自由空間での振幅Aを求める。その後、全ての反射物体について計算した透過波存在領域のうち、着目した評価点130を含む領域240を抽出し、もし、この領域が存在し、すなわち、直接波が反射物体により遮られるときには、この領域に対応する反射物体105の電気的パラメータ(2254)から透過係数T<sub>i</sub>を求め、先に求めた振幅Aに掛ける。評価点を抽出し、その評価点を含む領域を求め、その領域に対応する透過係数を掛けるステップを全ての評価点についてくり返す。

【0034】図10は、1次反射波の計算方法を示す。また、図11と図12に本発明による1次反射波の計算の様子を示した斜投図と正面図をそれぞれ示す。1次反射波の計算は、まず、一つの反射物体を抽出し(ステップ2050)、送信点との位置関係からその反射物体に対する仮想的な送信点を計算し(2052)、上記仮想的な送信点とその反射物体の位置関係から、反射波が存在する特定領域を計算する(2054)。

【0035】次に、上記特定領域内の一評価点を抽出する(2056)。この評価点には、着目している反射物体からの反射波が必ず到達するため、送信点からこの反射物体を反射して評価点に至るパスが存在する。そこ

8

離を求め、その距離に対応する自由空間で受信される振幅Aを(数3)により計算する(2008)。

【0029】

【数3】

で、このパスにおける評価点位置での反射電波の振幅を求め、メモリの上記評価点の座標と対応する記憶領域に、ここで計算した振幅を加算する(2058)。

【0036】上述したパス毎の振幅計算(2058)を反射波存在領域内の全ての評価点について繰り返し(2060)、上述したステップを全ての反射物体について繰り返す(2062)。具体的には、図11、図12に示すように、1つの反射物体105を抽出し、送信点と反射物体110との位置関係から仮想的な送信点140を求め、この仮想的な送信点140と反射物体105との位置関係に基づいて、反射波が存在する領域245を特定する。次に上記特定領域245内に位置する各評価点130についてパスを求め、送信点から評価点に至るパスにおける受信電波の振幅(1次反射の振幅値)を求め、これを評価点に対応する記憶領域に記憶された振幅値に加算する。

【0037】図13は、2次以上の反射波の計算方法を示す。また、図1と図14に、本発明による2次以上の反射波の計算の様子を示す斜投図と上面図をそれぞれ示す。

【0038】2次以上の反射波の計算は、まず、反射次数を保持する変数Ordに2を代入し、2次反射から計算を始める(ステップ2100)。現在計算している反射次数Ordが、予め規定した反射次数を越えている場合は計算を終了し、そうでなければ、以下のステップに進む(2102)。

【0039】まず、一つの反射物体を抽出し(2104)、その反射物体に対応する仮想的な送信点を計算し(2106)、最後に反射した反射物体に対応する仮想的な送信点と、その最後に反射した反射物体の位置関係から、反射波の存在する可能性のある領域を計算する(2108)。ここで求めた領域から一評価点を抽出したとき(2110)、この評価点は、パスが存在しない可能性があるため、パスの存在判定を行い(2112)、もし、パスが存在するならばそのパスにおける振幅を計算し、その評価点に対応する記憶領域にその振幅を加える(2114)。反射波存在領域内の評価点の抽出(2110)、パスの存在判定(2112)と振幅計算(2114)とを反射波の存在する可能性のある領域内の全ての評価点について行う(2116)。そして、次の反射物体について同様の計算を繰り返す(2118)。その後、反射次数を記憶する変数Ordを1を加え(2120)、所望の反射次数になるまで計算を行

う。

【0040】2次以上の反射波の振幅計算について、図1、および図14を用いて具体的に説明する。ここでは、第1反射物体105に反射し、次に、第2反射物体115に反射して評価点に至るパス135を考える。

【0041】まず、第1反射物体105から第2反射物体115に反射するパスの組合せのうち、一つのパスを抽出し(2104)、送信点の第1反射物体105に対する仮想的な送信点140と、上記仮想的な送信点140の第2反射物体115に対する仮想的な送信点145を求める(2106)。そして、最後に反射した反射物体である第2反射物体115に対する仮想的な送信点145と、第2反射物体115との位置関係から、反射波の存在する可能性のある領域150を特定する(2108)。この後、上記特定領域内の一評価点130を抽出する(2110)。この評価点には、反射波が到達するとは限らないので、パスの存在判定を行い(2116)、そのパスの振幅を評価点の座標に対応する記憶領域に加算する(2114)。これらのステップを反射波

$$\left\{ \begin{array}{l} t_a = \frac{h - z_i}{z_a - z_i} \\ t_b = \frac{h - z_i}{z_b - z_i} \\ t_c = \frac{h - z_i}{z_c - z_i} \\ t_d = \frac{h - z_i}{z_d - z_i} \end{array} \right. \dots\dots\dots (数4)$$

【0045】次に、パラメータ( $t_a$ ,  $t_b$ ,  $t_c$ ,  $t_d$ )から状態変数Sを求める。具体的には、パラメータ( $t_a$ ,  $t_b$ ,  $t_c$ ,  $t_d$ )に対応する作業変数( $S_a$ ,  $S_b$ ,  $S_c$ ,  $S_d$ )を用意し、パラメータ $t_a$ について、「 $0 \leq t_a$ 」、「 $1 < t_a$ 」、「 $t_a < 0$ 」のときの作業変数 $S_a$ の値をそれぞれ「0」、「1」、「2」にする。

【0046】図16は、送信点あるいは仮想的な送信点と、反射物体と、評価平面との位置関係と、作業変数の対応を示す。280は、送信点、あるいは仮想的な送信点(I)295から反射物体の一頂点(A)300を通り、評価平面上の点(A')320に到達するときの様子を示す図であり、このときの作業変数 $S_a$ は「0」となる。285は、送信点あるいは仮想的な送信点(I)

$$S = 3^3 S_a + 3^2 S_b + 3^1 S_c + 3^0 S_d \dots\dots\dots (数5)$$

【0049】この後、反射物体の4点の座標を回転する(ステップ265)。すなわち、反射物体の頂点A;300、B;305、C;310、D;315をそれぞれ「A←B」、「B←C」、「C←D」、「D←A」と回転させる。

【0050】次に、回転した回数を表す変数iに「1」を加える(270)。反射物体の座標を4回転していな

の存在する可能性のある領域内の全ての評価点について繰り返す。

【0042】図15は、送信点と反射物体との位置関係から透過波の存在領域を計算するステップ(2002)、仮想的な送信点と反射物体との位置関係から反射波存在領域を計算するステップ(2054)、仮想的な送信点と反射物体との位置関係から反射波の存在する可能性のある領域を計算するステップ(2108)についての実現方法を示す。

10 【0043】まず、変数iを初期値「1」に初期化(ステップ250)した後、送信点あるいは仮想的な送信点をI( $x_i$ ,  $y_i$ ,  $z_i$ )としたとき、反射物体を構成する4点2250:A( $x_a$ ,  $y_a$ ,  $z_a$ )、B( $x_b$ ,  $y_b$ ,  $z_b$ )、C( $x_c$ ,  $y_c$ ,  $z_c$ )、D( $x_d$ ,  $y_d$ ,  $z_d$ )と、評価平面の高さ(h)2302とを用いて、(数4)によりパラメータ $t_a$ ,  $t_b$ ,  $t_c$ ,  $t_d$ を計算する(255)。

【0044】

【数4】

評価平面上の点(A')320に到達するときの様子を示す。このときの作業変数 $S_a$ は「1」となる。また、290は、送信点あるいは仮想的な送信点(I)295から反射物体の一頂点(A)300に伸ばした線分が評価平面に到達しないときの様子を示す。このときの作業変数 $S_a$ は「2」となる。

【0047】このようなパラメータの変換を、ほかのパラメータ( $t_b$ ,  $t_c$ ,  $t_d$ )についても行い、それぞれ作業変数( $S_b$ ,  $S_c$ ,  $S_d$ )に変換する。そして、(数5)を用いて作業変数( $S_a$ ,  $S_b$ ,  $S_c$ ,  $S_d$ )から状態変数Sを求め、このときの4点の座標、パラメータ、状態変数を保持する(260)。

40 【0048】

【数5】

ければ、すなわち $i < 4$ であれば、パラメータの計算(255)から繰り返す(270)。そして、状態変数が最小値( $S_{min}$ )を取る組合せを選び、そのときの反射物体の頂点(A, B, C, D)、パラメータ( $t_a$ ,  $t_b$ ,  $t_c$ ,  $t_d$ )、状態変数 $S_{min}$ の値から評価平面上に射影される領域を求める(275)。

50 【0051】反射物体を回転し、状態変数が最小値を取

11

る組合せを見つける理由は、次の通りである。例えば、図17の340と345において、反射物体によって作られる領域の形は共に同じであるにもかかわらず、340と345での状態変数Sはそれぞれ「56」と「8」になる。このように、反射物体と、それによりできる領域の形状が同じでも、座標の取り方によって異なる状態変数の値を取る。従って、反射物体を回転させ、状態変数が最小になる値を領域の計算に用いる。例えば、340のようなときは、反射物体を回転させ345のようにして、状態変数が8であるとして取り扱う。

【0052】次に、状態変数の最小値から領域を求めるステップ(275)の詳細について説明する。送信点あるいは仮想的な送信点と、反射物体との位置関係の組合せを列挙して検討すると、状態変数の最小値( $S_{\min}$ )は、「0」、「4」、「8」、「40」、「44」、「80」のいずれかの値をとることがわかる。

【0053】図18は、評価平面上に射影される領域の4点の座標を $A' (x_a', y_a', h)$ 、 $B'$

$$\left\{ \begin{array}{l} A': \begin{pmatrix} x_a' \\ y_a' \\ h \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_a - x_i \\ y_a - x_i \\ 0 \end{pmatrix} t_a + \begin{pmatrix} x_i \\ y_i \\ h \end{pmatrix} \\ B': \begin{pmatrix} x_b' \\ y_b' \\ h \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_b - x_i \\ y_b - x_i \\ 0 \end{pmatrix} t_b + \begin{pmatrix} x_i \\ y_i \\ h \end{pmatrix} \\ C': \begin{pmatrix} x_c' \\ y_c' \\ h \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_c - x_i \\ y_c - x_i \\ 0 \end{pmatrix} t_c + \begin{pmatrix} x_i \\ y_i \\ h \end{pmatrix} \\ D': \begin{pmatrix} x_d' \\ y_d' \\ h \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_d - x_i \\ y_d - x_i \\ 0 \end{pmatrix} t_a + \begin{pmatrix} x_i \\ y_i \\ h \end{pmatrix} \end{array} \right. \quad \text{..... (数6)}$$

【0057】図20は、状態変数の最小値 $S_{\min}$ が「4」のときの説明図である。図20において、380は射投図、385は側面図であり、評価平面上に射影される点 $A'$ ；300、 $B'$ ；305は、送信点あるいは仮想的な送信点(I)295から反射物体105のそれぞれの頂点A；300、B；305に伸ばした延長線

$$\left\{ \begin{array}{l} A': \begin{pmatrix} x_a' \\ y_a' \\ h \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_a - x_i \\ y_a - x_i \\ 0 \end{pmatrix} t_a + \begin{pmatrix} x_i \\ y_i \\ h \end{pmatrix} \\ B': \begin{pmatrix} x_b' \\ y_b' \\ h \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_b - x_i \\ y_b - x_i \\ 0 \end{pmatrix} t_b + \begin{pmatrix} x_i \\ y_i \\ h \end{pmatrix} \\ C': \begin{pmatrix} x_c' \\ y_c' \\ h \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_c - x_b \\ y_c - x_b \\ 0 \end{pmatrix} t_c' + \begin{pmatrix} x_b \\ y_b \\ h \end{pmatrix} ; \quad t_c' = \frac{h - z_b}{z_c - z_b} \quad \text{..... (数7)} \\ D': \begin{pmatrix} x_d' \\ y_d' \\ h \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_a - x_d \\ y_a - x_d \\ 0 \end{pmatrix} t_d' + \begin{pmatrix} x_d \\ y_d \\ h \end{pmatrix} ; \quad t_d' = \frac{h - z_d}{z_a - z_d} \end{array} \right.$$

12

$(x_b', y_b', h)$ 、 $C' (x_c', y_c', h)$ 、 $D' (x_d', y_d', h)$ としたとき、送信点あるいは仮想的な送信点(I)295、反射物体105、評価平面125、および評価平面上に射影される領域の関係を示す。

【0054】図19は、状態変数の最小値(以下、単に状態変数と略す) $S_{\min}$ が「0」のときの説明図である。

【0055】図19において、355は射投図、360は側面図であり、評価平面上に射影される点 $A'$ ；320、 $B'$ ；325、 $C'$ ；330、 $D'$ ；335は、送信点あるいは仮想的な送信点(I)295から反射物体105のそれぞれの頂点A；300、B；305、C；310、D；315に向かって伸ばした延長線と、評価平面125とのそれぞれの交点であるから、これらの座標は(数6)のように表される。

【0056】

【数6】

と、評価平面とのそれぞれの交点であり、また、 $C'$ ；310、 $D'$ ；315は、それぞれ辺BCと評価平面の交点と辺DAの交点であるから、これらの座標は(数7)のように表される。

【0058】

【数7】

13

【0059】図21は、状態変数の最小値 $S_{\min}$ が「8」のときの説明図である。図21において、375は射投図、380は平面図であり、評価平面上に射影される点 $A'$ ；320、 $B'$ ；325は、送信点あるいは仮想的な送信点(I)295から反射物体105のそれぞれの頂点 $A$ ；300、 $B$ ；305に伸ばした延長線と、評価平面とのそれぞれの交点である。他方、評価平

$$\left\{ \begin{array}{l} A': \begin{pmatrix} x'_a \\ y'_a \\ h \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_a - x_i \\ y_a - x_i \\ 0 \end{pmatrix} t_a + \begin{pmatrix} x_i \\ y_i \\ h \end{pmatrix} \\ B': \begin{pmatrix} x'_b \\ y'_b \\ h \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_b - x_i \\ y_b - x_i \\ 0 \end{pmatrix} t_b + \begin{pmatrix} x_i \\ y_i \\ h \end{pmatrix} \\ C': \begin{pmatrix} x'_c \\ y'_c \\ h \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_c - x_i \\ y_c - x_i \\ 0 \end{pmatrix} t_{\infty} + \begin{pmatrix} x_b \\ y_b \\ h \end{pmatrix} \\ D': \begin{pmatrix} x'_d \\ y'_d \\ h \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_d - x_i \\ y_d - x_i \\ 0 \end{pmatrix} t_{\infty} + \begin{pmatrix} x_a \\ y_a \\ h \end{pmatrix} \end{array} \right. \dots\dots\dots (数8)$$

【0061】ただし、 $t_{\infty}$ は充分大きな値であり、例えば、 $10^5$ である。

【0062】図22は、状態変数の最小値 $S_{\min}$ が「40」のときの説明図である。図22において、385は射投図、390は側面図であり、評価平面上に領域は存在しない。

【0063】図23は、状態変数の最小値 $S_{\min}$ が「44」のときの説明図である。図23において、395は射投図、400は平面図であり、評価平面上に射影される点 $A'$ ；320は、辺 $BC$ と評価平面との交点であ

$$\left\{ \begin{array}{l} A': \begin{pmatrix} x'_a \\ y'_a \\ h \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_a - x_d \\ y_a - x_d \\ 0 \end{pmatrix} t'_a + \begin{pmatrix} x_d \\ y_d \\ h \end{pmatrix} ; t'_a = \frac{h - z_d}{z_a - z_d} \\ B': \begin{pmatrix} x'_b \\ y'_b \\ h \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_c - x_b \\ y_c - x_b \\ 0 \end{pmatrix} t'_b + \begin{pmatrix} x_b \\ y_b \\ h \end{pmatrix} ; t'_b = \frac{h - z_b}{z_c - z_b} \\ C': \begin{pmatrix} x'_c \\ y'_c \\ h \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_c - x_i \\ y_c - x_i \\ 0 \end{pmatrix} t_{\infty} + \begin{pmatrix} x_b \\ y_b \\ h \end{pmatrix} \\ D': \begin{pmatrix} x'_d \\ y'_d \\ h \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_d - x_i \\ y_d - x_i \\ 0 \end{pmatrix} t_{\infty} + \begin{pmatrix} x_a \\ y_a \\ h \end{pmatrix} \end{array} \right. \dots\dots\dots (数9)$$

【0065】ただし、 $t_{\infty}$ は、 $S_{\min}=8$ のときと同様に、十分に大きな値であり、例えば、 $10^5$ である。

【0066】図24は、状態変数の最小値 $S_{\min}$ が「80」のときの説明図である。図24において、405は射投図、410は側面図であり、評価平面上に射影される領域は存在しない。

【0067】なお、本発明のシュミレーション方法を実

14

面上に射影される点 $C'$ ；330は、点 $B'$ ；325を始点とし、線分 $IC$ に平行な無限遠の点である。同様に、点 $D'$ ；335は、点 $A'$ ；320を始点とし、線分 $ID$ に平行な無限遠の点である。従って、これらの座標は(数8)のように表される。

【0060】

【数8】

り、また、点 $B'$ ；325は、辺 $DA$ と評価平面との交点である。また、評価平面上に射影される点 $C'$ ；330は、点 $B'$ ；325を始点とし、線分 $IC$ に平行な無限遠の点であり、同様に、点 $D'$ ；335は、点 $A'$ ；320を始点とし、線分 $ID$ に平行な無限遠の点である。従って、これらの座標は(数9)のように表される。

【0064】

【数9】

現するプログラムは、電波強度の計算処理(155、200、205、210)を言語C++を用いて、2、5000行程度で記述することができる。

【0068】本発明の構成によれば、一般的な基地局レイアウトにおいて、2次反射までの反射波を考慮した電波強度の予測計算の場合で計算所要時間を従来の約半分に、また、3次反射までの反射波を考慮した計算所要時

間を従来の約6分の1に削減することができる。

#### 【0069】

【発明の効果】以上の実施例から明らかなように、本発明によれば、反射波または透過波の到達領域によって特定された評価点について予測計算を行うようにしているため、レイトレース法を用いた電波強度予測方法において、計算精度を落すことなく、計算時間のみを削減することができる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明により2次反射波の電波強度計算を行う場合の特定領域を示す斜等図。

【図2】従来方法による電波強度予測方法を示すフローチャート。

【図3】電波のパスの求め方を示した図。

【図4】本発明による電波強度予測方法の1実施例を示すフローチャート。

【図5】本発明で使用するパラメータの構造を示す図。

【図6】計算結果を保持するための記憶領域の構成を示す図。

【図7】本発明による直接波の電波強度の計算方法を示すフローチャート。

【図8】本発明において直接波の電波強度計算の対象領域の1例を示す斜投図。

【図9】図8の斜視図に対応する平面図。

【図10】本発明による1次反射波（1次反射による透過波を含む）の電波強度の計算方法を示すフローチャート。

【図11】本発明において1次反射波の電波強度計算の対象領域の1例を示す斜投図。

【図12】図10の斜視図に対応する平面図。

【図13】本発明による2次以上の反射波（2次以上の反射による透過波を含む）の計算方法を示すフローチャート。

【図14】本発明における2次反射波の電波強度計算の対象領域の1例を示す平面図。

【図15】送信点と反射物体との位置関係から反射波存在領域／透過波存在領域を計算する方法を示すフローチャート。

【図16】送信点または仮想的な送信点と、反射物体の一頂点と、評価平面上に照射する点の位置関係を示す

図。

【図17】状態変数値が異なり、同じ反射波存在領域／透過波存在領域を持つ例を示す図。

【図18】送信点または仮想的な送信点、反射物体、評価平面における座標の関係を示す図。

【図19】状態変数の値が「0」のときの反射波存在領域／透過波存在領域を示す図。

【図20】状態変数の値が「4」のときの反射波存在領域／透過波存在領域を示す図。

【図21】状態変数の値が「8」のときの反射波存在領域／透過波存在領域を示す図。

【図22】状態変数の値が「40」のときの反射波存在領域／透過波存在領域を示す図。

【図23】状態変数の値が「44」のときの反射波存在領域／透過波存在領域を示す図。

【図24】状態変数の値が「80」のときの反射波存在領域／透過波存在領域を示す図。

#### 【符号の説明】

100…電波送信点、105…反射物体1、110…反射物体1上の反射点、115…反射物体2、120…反射物体2上の反射点、125…評価平面、130…評価点、135…電波のパス、140、145…仮想的な送信点、150…反射波が存在する可能性のある領域、155…パラメータ設定と初期化ステップ、160…評価平面上の一つの評価点選択ステップ、165…送信点と評価点との間のパスを抽出ステップ、170…送信点から評価点までのパスが存在するかどうかの判定ステップ、175…抽出したパスの振幅を求めるステップ、180…評価点に対応する記憶領域に振幅値を加算するステップ、185…取り得る全てのパスについて計算したかどうかの判定ステップ、190…全ての評価点を計算したかどうかの判定ステップ、195…強度分布の出力ステップ、200…直接波（直接波による透過波を含む）の振幅計算ステップ、205…1次反射波（1次反射波による透過波を含む）の振幅計算ステップ、210…2次以上の反射波（2次以上の反射波による透過波を含む）の振幅計算ステップ、245…1次反射波が到達する領域、350…反射波あるいは透過波の存在する領域。

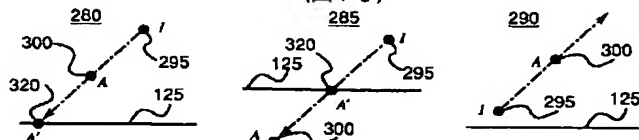
【図6】

(図6)

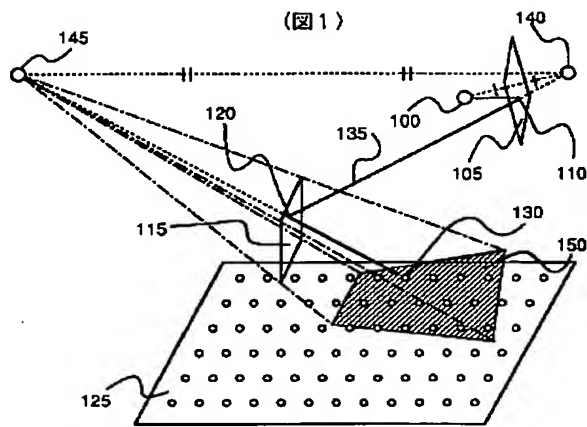
振幅(1,1)	振幅(1,2)	……	振幅(1,n)
振幅(2,1)	振幅(2,2)	……	振幅(2,n)
……	……	……	……
振幅(m,1)	振幅(m,2)	……	振幅(m,n)

【図16】

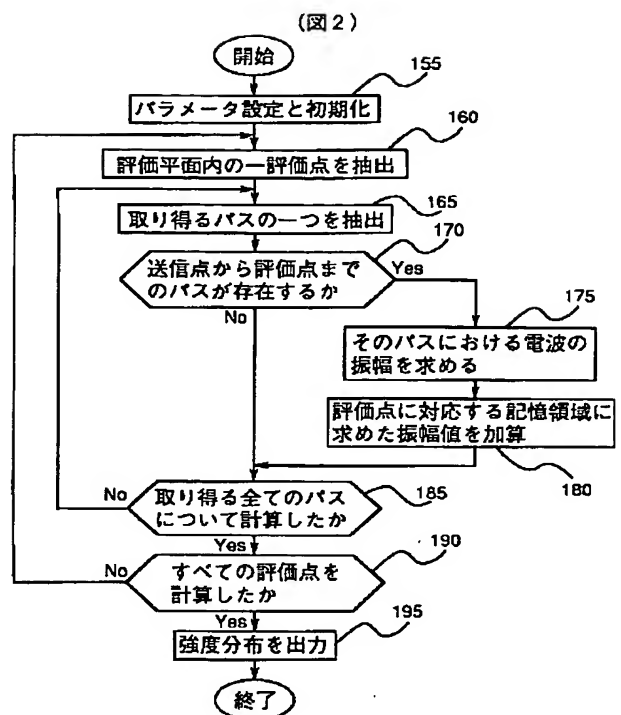
(図16)



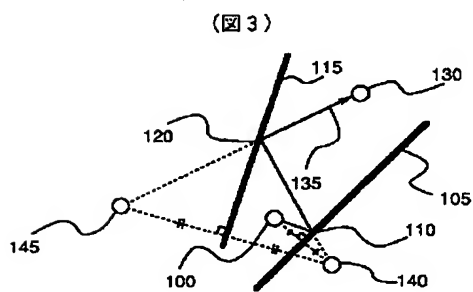
【図 1】



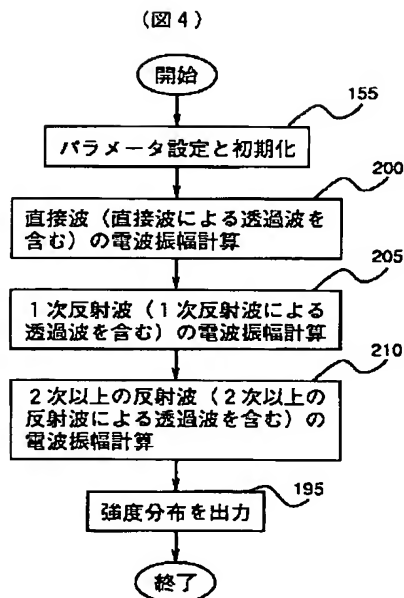
【図 2】



【図 3】

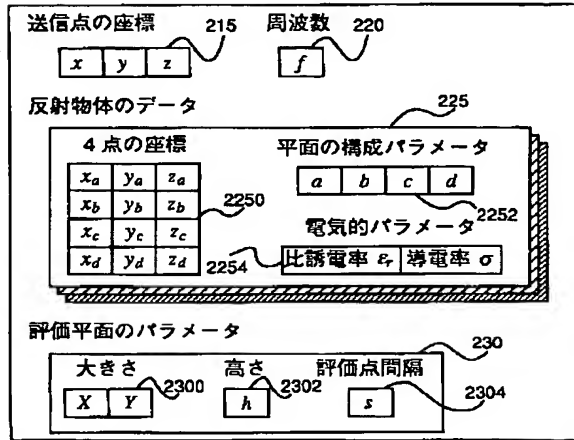


【図 4】

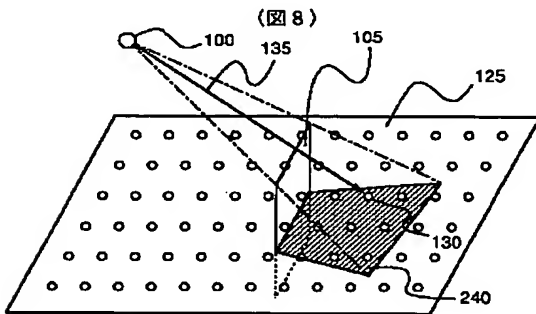


【図 5】

(図 5)

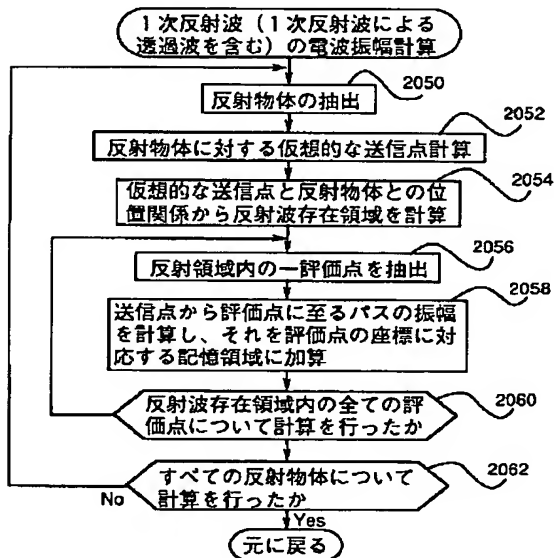


【図 8】



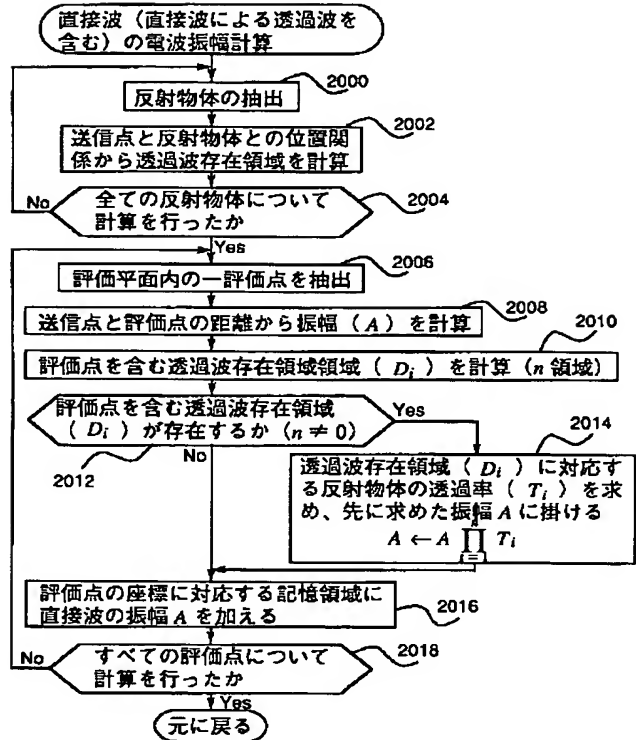
【図 10】

(図 10)



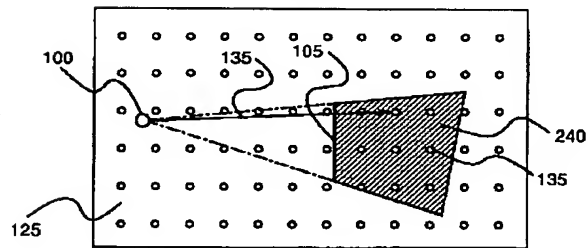
【図 7】

(図 7)

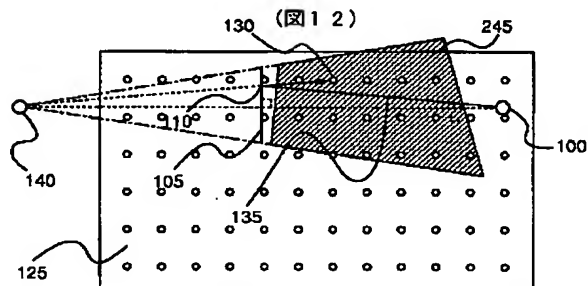


【図 9】

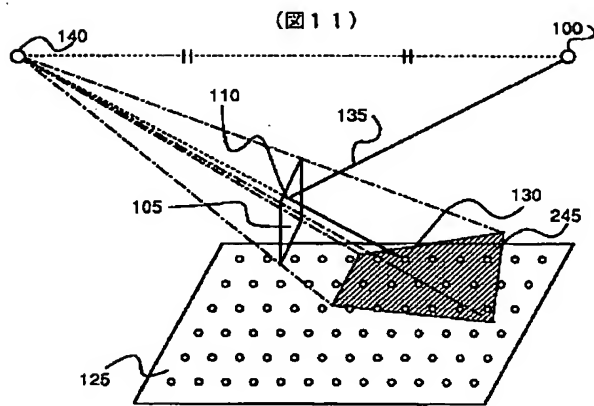
(図 9)



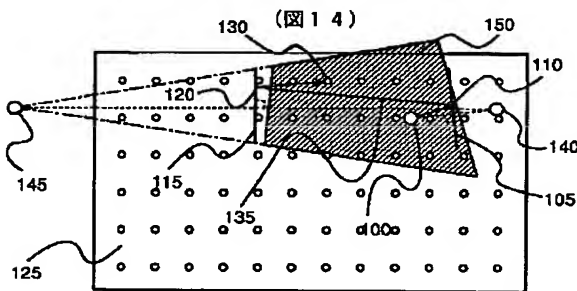
【図 12】



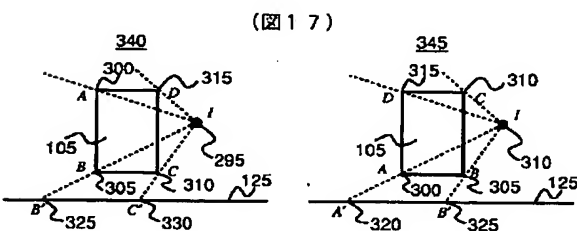
【図 1 1】



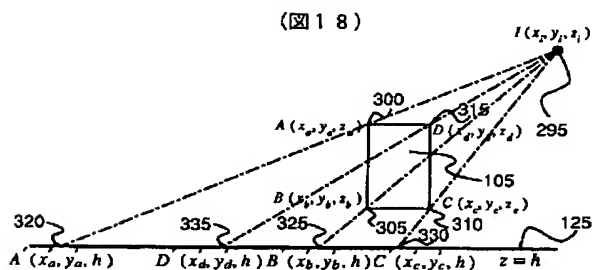
【図 1 4】



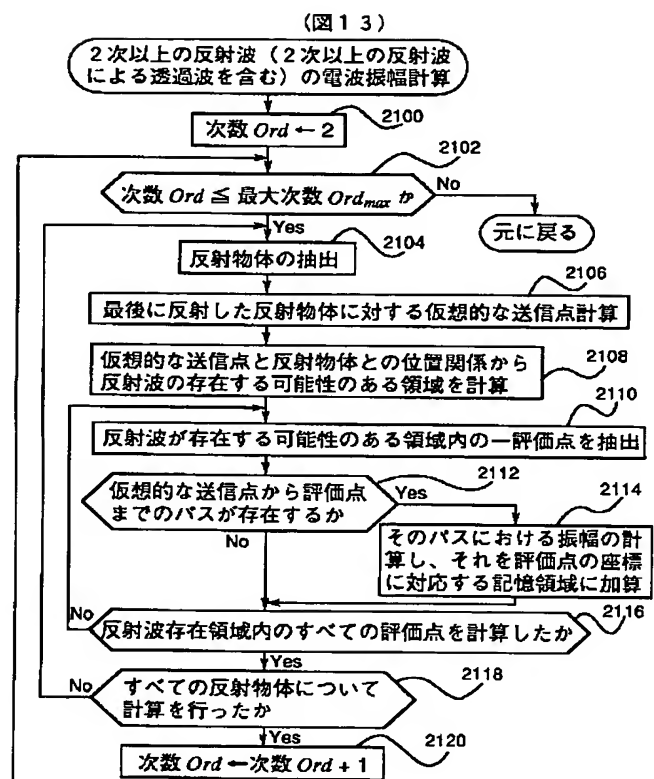
【図 1 7】



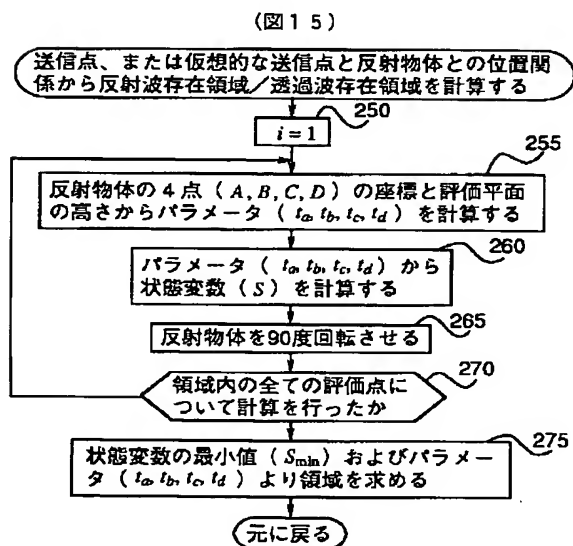
【図 1 8】



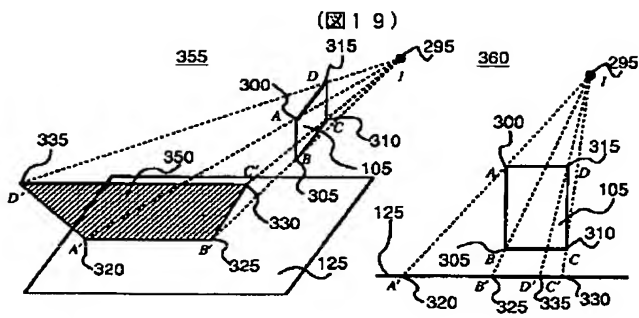
【図 1 3】



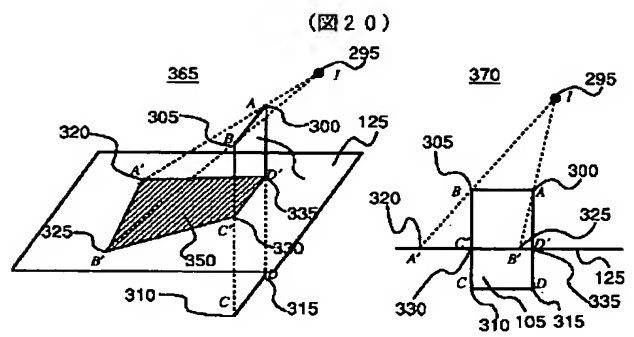
【図 1 5】



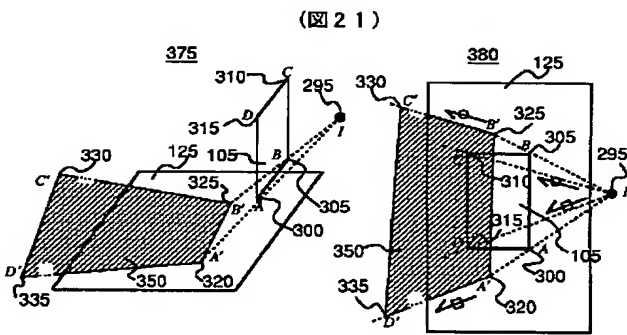
【図 19】



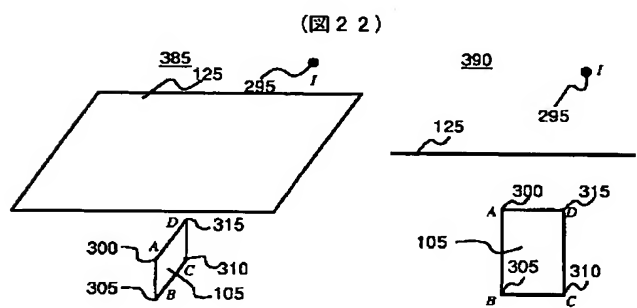
【図 20】



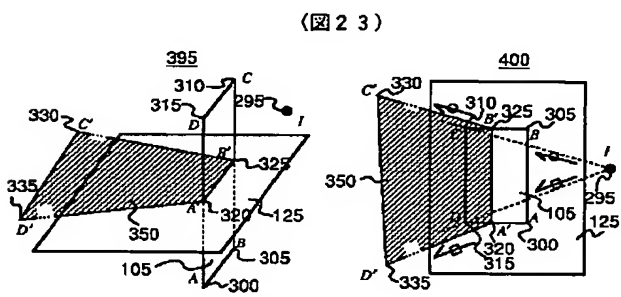
【図 21】



【図 22】



【図 23】



【図 24】

